FLOORS SUPORTED BY TENSORS AT THE PLATAFORMA GUBERNAMENTAL DE GESTION DE DESARROLLO SOCIAL

C. Garzón-Chalco (1)

[1] ESPE-INNOVATIVA EP, Fiscalización de la Construcción de la Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social, Quito-Ecuador christiangc2e@yahoo.com

Received: February 2018. Accepted: June 2018

ABSTRACT

Located in the South of Quito, the Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social is a building made of ASTM A572 Structural Steel with an area of construction which gives the title of the second biggest steel building constructed in Ecuador.

Inside the perimeter of 213 meters long and 45 meters wide are constructed two under-floors and seven floors; moreover, in some areas there are suspended floors which make a challenger in both architectural and engineering issues of this building.

Connections of suspended floors are the essential elements for managing an adequate behavior under loads of design specially load from seismic events.

This work shows the methodology of construction of the suspended floors of this building, all of this with the adequate use of engineering.

Keywords: suspended floors, seismic events, steel building.

PISOS SUSTENTADOS POR TENSORES EN LA PLATAFORMA GUBERNAMENTAL DE GESTIÓN DE DESARROLLO SOCIAL

RESUMEN

Localizada en el sur de Quito, la Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social es un edifico de acero estructural ASTM A572 cuya área de construcción lo convierte en el segundo edificio de acero más grande construido en el Ecuador.

Dentro de un perímetro de 213 metros de longitud y 45 metros de ancho se encuentran ubicados dos subsuelos y siete plantas altas y, en varias de ellas áreas de pisos suspendidos lo que hace de esto un reto para la arquitectura e ingeniería de este edificio.

Las conexiones de los pisos suspendidos son los elementos esenciales para lograr un comportamiento adecuado ante las diversas solicitaciones de diseño en especial las procedentes de eventos sísmicos.

El presente trabajo pretende ilustrar la metodología utilizada en la construcción de estos pisos suspendidos enmarcados dentro del uso adecuado de la ingeniería.

Palabras clave: pisos suspendidos, eventos sísmicos, edificio de acero.

1. INTRODUCCIÓN

Los pisos suspendidos de la Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social representan los elementos característicos y propios de esta edificación, la figura 1 muestra una vista de esta edificación. En esta imagen se aprecia la configuración geométrica de este edificio con sus correspondientes pisos suspendidos.



Figura 1 Vista de la Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social y sus pisos suspendidos.

La figura 2 indica en detalle los pisos suspendidos de la Plataforma Social a la izquierda 3 y a la derecha 4 pisos suspendidos.

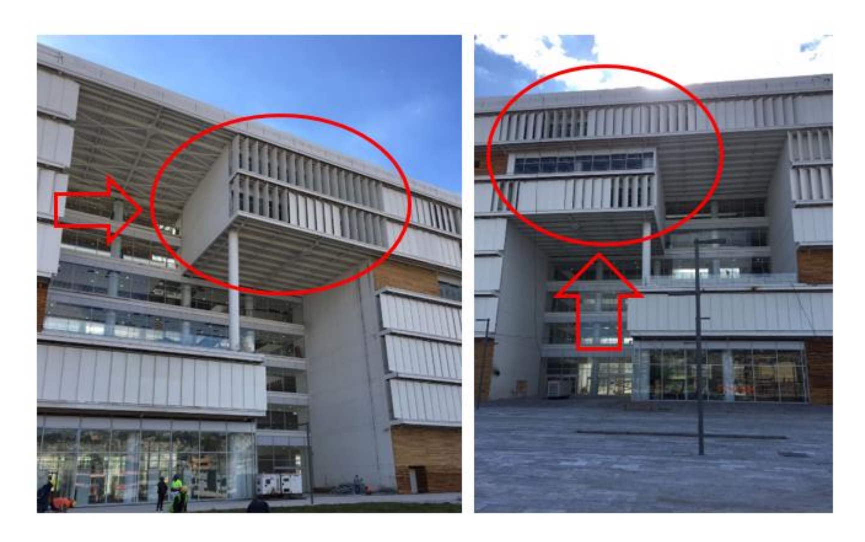


Figura 2 Pisos suspendidos de la Plataforma Social.

Los pisos suspendidos son los elementos icónicos de la Plataforma Gubernamental Social y, para su sustento y estabilidad estructural cuentan con 10 vigas de 3 metros de peralte, 48 metros de longitud y un peso de 70 toneladas cada una, denominadas dentro del proyecto como vigas-puente, representando así un peso total de 700 toneladas de acero estructural, todas ellas alojadas en el último piso de la edificación. La figura 3 muestra una de las 10 vigas-puente, ésta se ha ubicado a pie de obra de la construcción de la Plataforma Social previo a su montaje en el último piso del edificio.



Figura 3 Imagen de una de las 10 vigas-puente alojada a pie de obra de la construcción de la Plataforma Social, obsérvese sus dimensiones en relación con las personas y el equipo pesado adyacente a la viga.

2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE PISOS SUSPENDIDOS

2.1 Procedimiento constructivo de pisos suspendidos

El proceso constructivo adoptado en la Plataforma Social consistió en el montaje de los elementos de acero estructural desde abajo hacia arriba en donde las vigas y columnas de los pisos ya montados son el soporte de los elementos de los pisos superiores además se requirió la ayuda de columnas temporales o falsas para el apoyo de los pisos suspendidos.

2.1.1 Columna temporal o falsa para el soporte de pisos suspendidos

Para la construcción de los pisos suspendidos en donde sus componentes estructurales no tienen sustento de los elementos de los pisos inferiores se requirió de la construcción de columnas falsas o temporales. La figura 4 indica las columnas falsas cerchadas utilizadas en el soporte de los pisos suspendidos de la Plataforma Social.




Figura 4 Columna falsa o temporal de la Plataforma Gubernamental Social para soportar temporalmente a los elementos de los pisos suspendidos de la edificación, a la izquierda a inicios del montaje de pisos suspendidos, soportando la primera columna y a la derecha soportando ya dos pisos.

2.1.2 Elementos estructurales de pisos suspendidos

Los elementos constitutivos de los pisos suspendidos de la Plataforma Social son vigas principales entre 450 y 500 mm de peralte y secundarias que bordean en promedio los 395 mm de peralte además de columnas circulares de 90 cm de diámetro y 20 mm de espesor, la figura 5 muestra la configuración geométrica de estos elementos estructurales.

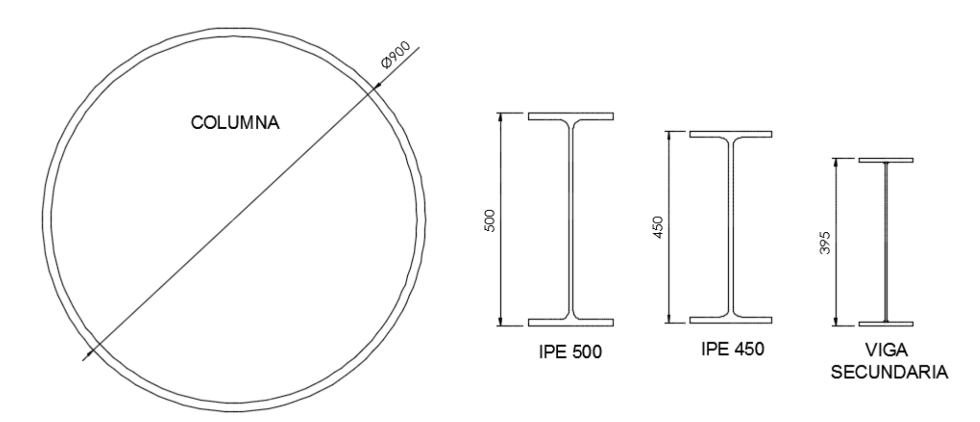


Figura 5 Secciones transversales de los elementos estructurales que forman parte de los pisos suspendidos de la Plataforma Social, dimensiones en milímetros.

La figura 6 muestra los pisos suspendidos tanto en planos como en construcción. Se observa en la zona izquierda de la figura de la Plataforma Social cuatro pisos suspendidos, mientras que en la zona central y derecha se hallan tres pisos, soportados todos ellos por las vigas-puente descritas anteriormente.

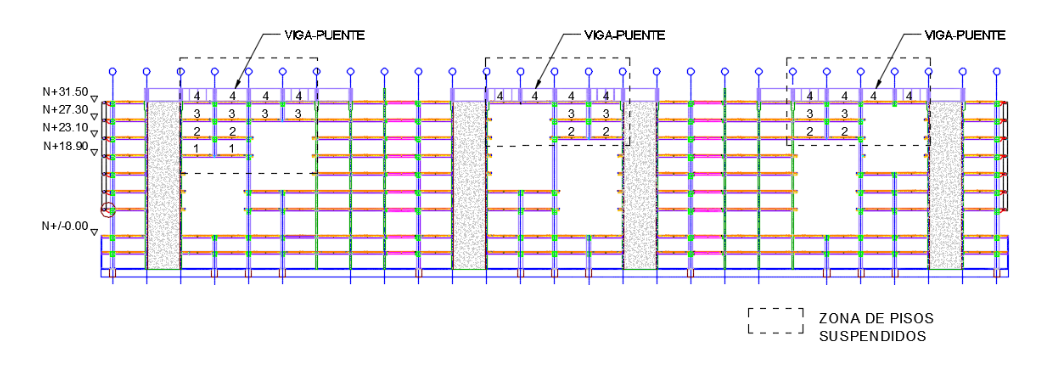




Figura 6 Pisos suspendidos de la Plataforma Gubernamental Social en la parte superior en planos y en la parte inferior completamente construidos.

2.1.3 Áreas de pisos suspendidos

Los pisos suspendidos se enmarcan en promedio dentro de un área de 16 metros de longitud y 15 metros de ancho; sin embargo, el último piso posee un área de 32 metros de longitud y 15 metros de ancho. Las figuras 7, 8, 9 y 10 muestran cada una de las plantas de la Plataforma Social donde existen pisos suspendidos.

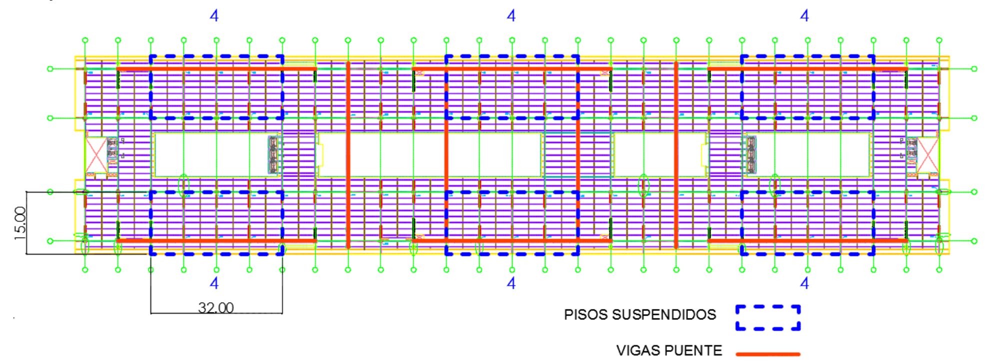


Figura 7 Planta del nivel N+31.50 (último piso) de la Plataforma Social, las líneas segmentadas muestran los perímetros de pisos suspendidos que en la azotea del edificio corresponden a 6 áreas de 32 metros de longitud por 15 metros de ancho y soportados por las vigas-puente.

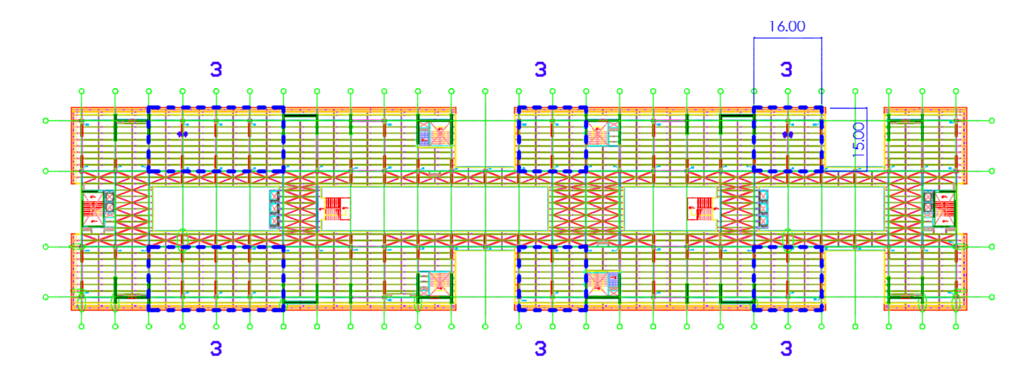


Figura 8 Planta del nivel N+27.30 de la Plataforma Social, las líneas segmentadas muestran los perímetros de pisos suspendidos que en este nivel del edificio corresponden a 2 áreas de 32 metros de longitud por 15 metros de ancho y 4 áreas de 16 metros de longitud por 15 metros de ancho y soportados por la viga-puente.

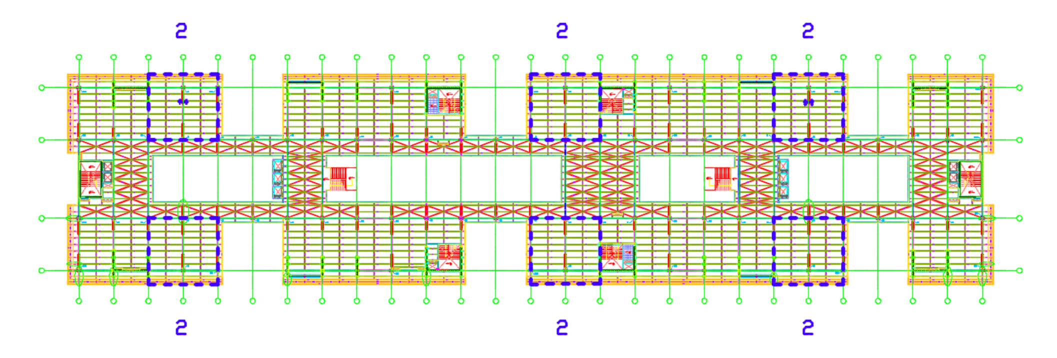


Figura 9 Planta del nivel N+23.10, de la Plataforma Social, las líneas segmentadas muestran los perímetros de pisos suspendidos que en este nivel del edificio corresponden a 6 áreas de 16 metros de longitud por 15 metros de ancho y soportados por la viga-puente.

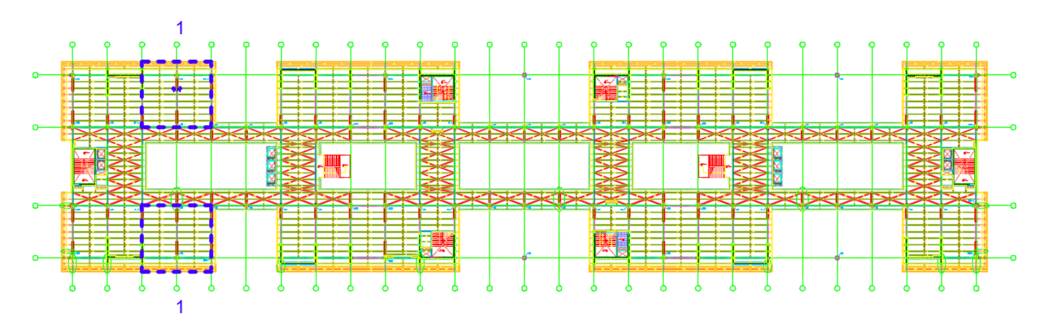


Figura 10 Planta del nivel N+18.90, de la Plataforma Social, las líneas segmentadas muestran los perímetros de pisos suspendidos que en este nivel del edificio corresponden a 2 áreas de 16 metros de longitud por 15 metros de ancho y soportados por la viga-puente.

2.1.4 Características de Vigas-Puente

Las vigas-puente de la Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social están construidas con acero estructural ASTM A 572 de grado 50 y, están clasificadas en 6 longitudinales y 4 transversales, en relación con su disposición dentro del edificio, todas ellas con doble alma.

Las vigas-puente longitudinales y transversales poseen 48 metros y 45 metros de longitud respectivamente; ambas vigas poseen 3.06 metros de peralte, un ancho de patín de 80 cm y 30 mm de espesor, mientras que las almas poseen un espesor de 25 mm y una altura de 3.00 metros, la figura 11 muestra la sección transversal de la viga-puente previo a su montaje, tanto en planos como en el sitio de la construcción de la Plataforma Social.



Figura 11 Sección transversal de Viga-puente, a la izquierda en planos con dimensiones en metros, a la derecha a pie de obra previo a su montaje.

La figura 12 muestra la disposición de las vigas-puente longitudinales en el último piso de la edificación, mientras que la figura 13 indica la disposición de las vigas transversales así también en el último piso de la Plataforma Social.



Figura 12 Vigas-puente longitudinales en último piso de Plataforma Social.



Figura 13 Vigas-puente transversales en último piso de Plataforma Social.

En el último piso de este edificio se encuentran alojadas alrededor de 700 toneladas referentes al peso propio de las vigas-puente sin considerar el resto de elementos estructurales que se alojan en esta área. El arreglo reticular que se forma en la azotea de la edificación del conjunto de las vigas-puente tanto longitudinales como transversales juega un papel muy importante en el comportamiento modal-espectral de la edificación.

La figura 14 muestra el arreglo reticular ubicado en el último piso de la Plataforma Social formado por las 6 vigas-puente longitudinales y 4 vigas-puente transversales.

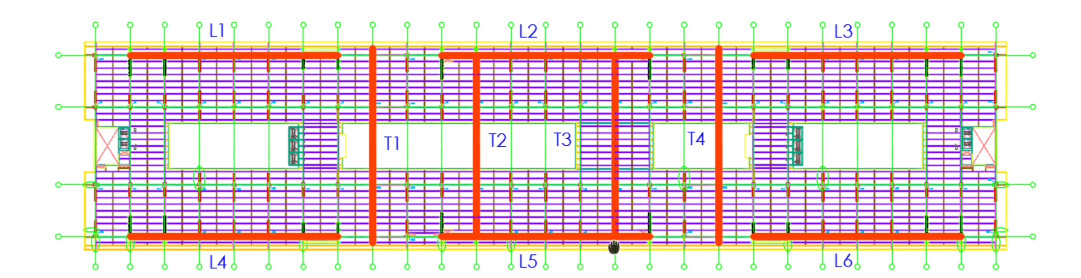


Figura 14. Arreglo reticular ubicado en el último piso de la Plataforma Social, el peso conjunto de estas 10 vigas corresponde a 700 toneladas de acero estructural. (L: Longitudinal; T: Transversal).

2.1.5 Montaje de vigas-puente

Una vez que fue culminado el montaje de los pisos suspendidos, mismos que se encuentran temporalmente sustentados en las columnas falsas cerchadas, se procede con el montaje de las vigas-puente que se colocan en el último piso de la Plataforma Social.

El colocar las vigas-puente en el último piso de la Plataforma Social fue la etapa clave y sin duda alguna la más importante de este edificio ya que requirió de la ayuda de equipos sumamente pesados mismos que fueron capaz de subir vigas de grandes dimensiones y pesos hasta los 31.50 metros de altura de este proyecto emblemático.

Las figuras 15a y 15b muestran el montaje de una de las 10 vigas-puente colocadas en el último piso de la estructura en las que se sustentan varios pisos suspendidos de la edificación. Para el montaje de las vigas-puente fueron necesarias la utilización de grúas de 300 y 500 toneladas de capacidad, convirtiéndose en el montaje de elementos de acero estructural para edificios de mayor peso en el Ecuador.



Figura 15a Montaje de vigas-puente de la Plataforma Gubernamental Social etapa inicial, grúas de 300 toneladas de capacidad.



Figura 15b Montaje de vigas-puente de la Plataforma Gubernamental Social etapa final.

La figura 16a muestra una vista aérea de todas las vigas-puente ya alojadas en el último piso de la Plataforma Social durante la etapa de montaje de la estructura, mientras que la figura 16b muestra una vista aérea isométrica en la etapa de culminación de la construcción de la estructura. Las 10 vigas-puente representan un peso total de 700 toneladas en esta zona del edificio. Se observa el arreglo reticular de las vigas-puente ya finalizado y listo para soportar los pisos suspendidos de la edificación.

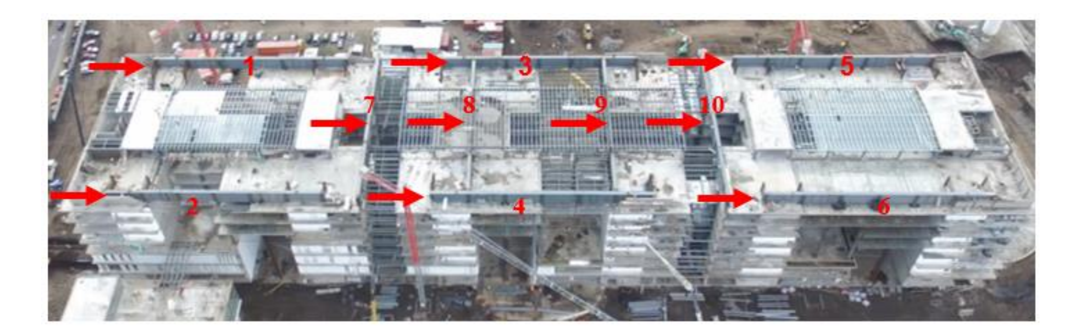


Figura 16a Vista aérea de las 10 vigas-puente alojadas en último piso de la Plataforma Gubernamental Social durante la etapa de construcción de la estructura.



Figura 16b Vista aérea isométrica de las 10 vigas-puente alojadas en último piso de la Plataforma Gubernamental Social durante la etapa de culminación de la estructura.

Una vez que se han colocado las vigas-puente en el último piso de la Plataforma Social se procede a retirar las columnas falsas o temporales y así los pisos suspendidos quedan liberados para ser sustentados en las vigas-puente.

2.2 Elementos de conexión viga-puente con columna de pisos suspendidos

Los pisos suspendidos de la Plataforma Social se sustentan en la viga-puente mediante las columnas de suspensión (tensores), mismas que en lugar de poseer esfuerzos de compresión, típica del comportamiento de una columna, éstas se encuentran solicitadas por esfuerzos de tensión generados por el peso propio de los pisos suspendidos y a los esfuerzos de cargas de servicio y de eventos sísmicos cuando la estructura se encuentre en funcionamiento.

Estas conexiones han sido evaluadas mediante los requisitos establecidos en AWS D1.1/D1.1M:2015, Structural Welding Code-Steel, así como también ANSI AISC 341, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings y ANSI AISC 358, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications.

La figura 17a muestra los elementos constitutivos de la conexión viga-puente con columna de suspensión (tensor) y por ende con los pisos suspendidos, en planos.

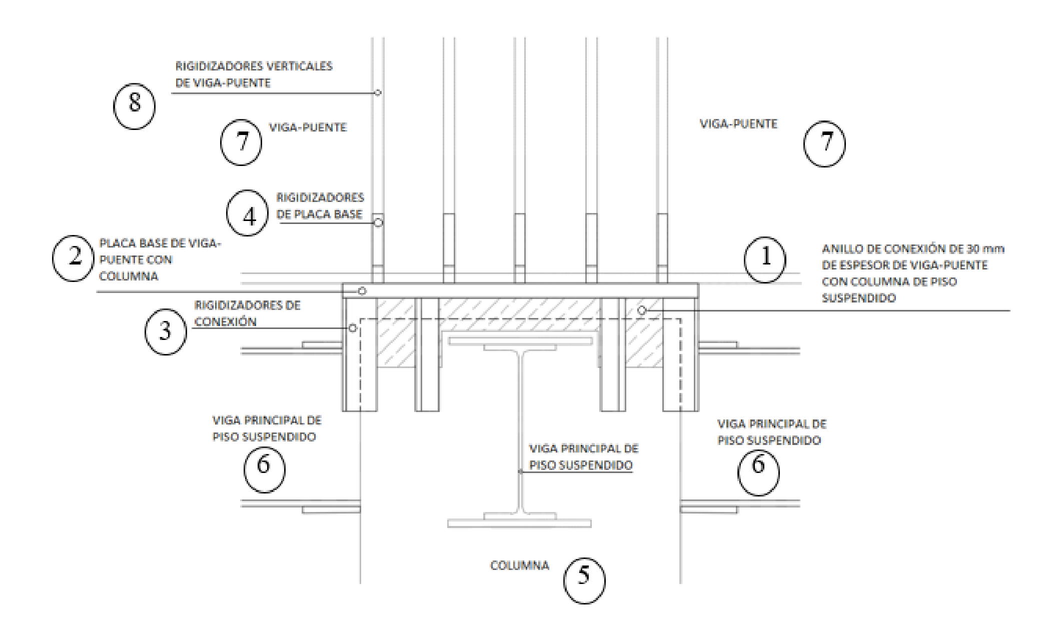


Figura 17a Conexión de la viga-puente con columna de suspensión, en planos

Mientras que la figura 17b muestra la conexión anteriormente descrita en su etapa de construcción.



Figura 17b Conexión de la viga-puente con columna de suspensión, en etapa de construcción.

A continuación se enlistan los elementos constitutivos de esta conexión (en base a la numeración que se detalla en la figura 17). Esta conexión que fue analizada adoptando un factor de reducción de fuerzas sísmicas R=3, es decir una duplicación de las fuerzas de diseño de la edificación.

2.2.1 Anillo de conexión (1)

Esta es una placa de 30 mm de espesor, la cual ha sido previamente rolada tomando un diámetro de 96 cm, es la que se encarga de la transmisión directa de los esfuerzos desde los pisos suspendidos hacia la columna de suspensión (tensor) y por ésta hacia la viga-puente. Para el análisis y diseño de este anillo se consideró la adopción de un factor de reducción de fuerza sísmica R=3.

2.2.2 Placa-base de viga-puente con columna (2)

Consiste en una placa de 40 mm de espesor, ésta brinda la transición de la columna de suspensión (tensor) con el patín inferior de la viga-puente. Se encuentra completamente adherida a la viga-puente y al perímetro circular de la columna suspendida mediante soldadura estructural.

2.2.3 Rigidizadores de conexión (3)

Son los encargados de aportar rigidez a la conexión, en la zona inferior específicamente entre la placa-base y la columna de suspensión (tensor).

2.2.4 Rigidizadores de Placa-base (4)

Estos rigidizadores son los responsables de brindar rigidez en la zona superior de la conexión entre el patín inferior de la viga-puente con la placa-base.

2.2.5 Columna de suspensión (tensor) (5)

Es el elemento de sustentación de los pisos suspendidos con la viga-puente, posee 90 cm de diámetro y 20 mm de espesor, las solicitaciones preponderantes sobre este elemento corresponden a esfuerzos de tensión.

2.2.6 Vigas principales de pisos suspendidos (6)

Son los componentes estructurales de los pisos suspendidos que se encuentran adheridos a la columna de suspensión (tensor).

2.2.7 Viga-puente (7)

Es el elemento estructural que se encarga de sustentar a los pisos suspendidos de la Plataforma Social, en el proyecto existen 10 vigas-puente. Las solicitaciones correspondientes a las cargas de servicio como las de eventos sísmicos de los pisos suspendidos son solventadas por estas vigas.

2.2.8 Rigidizadores verticales de viga-puente (8)

Son los rigidizadores que cruzan verticalmente a la viga-puente y brindan la rigidez a la zona de conexión a lo largo de toda el alma de la viga-puente.

La conexión de los pisos suspendidos con la viga-puente al ser considerada un elemento no redundante se la analizó y diseñó con un factor de reducción de fuerzas sísmicas R=3 es decir se duplicó la fuerza sísmica y así se garantiza que la formación de articulaciones plásticas en esta zona de conexión ocurra después de que éstas hayan aparecido en elementos redundantes en el caso de la ocurrencia del sismo de diseño aplicado a esta edificación.

2.3 Transferencia de esfuerzos de viga-puente hacia la cimentación

Todas las vigas-puente de la Plataforma Social se encuentran apoyadas en los 16 muros de corte del proyecto, mismos que son los encargados de brindar la rigidez y la resistencia de fuerzas provenientes de eventos sísmicos en la edificación.

El espesor de estos muros estructurales bordea los 50 cm y fueron construidos desde la cimentación hasta el último piso del edificio (N+31.50 m). La figura 18 muestra la disposición de los muros de corte en la Plataforma Social mediante una vista en elevación.

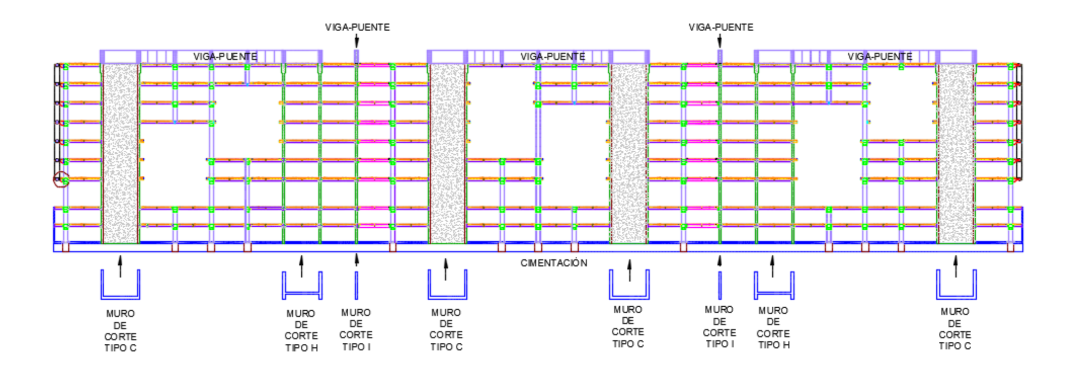


Figura 18 Vista en elevación que indica la configuración geométrica de los muros de corte de la Plataforma Social desde la cimentación hasta el último piso.

Mientras que la figura 19 muestra la disposición de todos los muros de corte dentro del perímetro de la edificación.

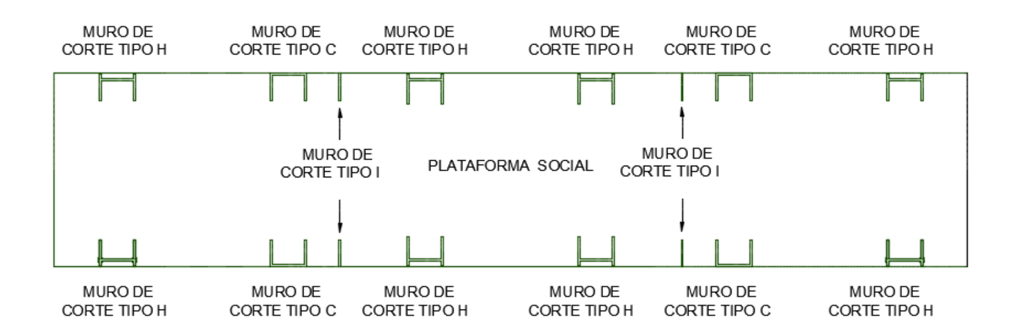


Figura 19 Vista en planta que indica la disposición de los muros de corte dentro del perímetro de la Plataforma Social.

Los muros de corte de la Plataforma Social poseen configuraciones geométricas del tipo I, C y H, con dimensiones que bordean los 6.30 metros de ancho, 8.50 metros de longitud y 50 cm de espesor.

Las vigas-puente se encuentran apoyadas en la zona más alta de los muros de corte. Se modificó la sección transversal de los muros con la construcción de cabezales de anclaje mismos que corresponden al ensanchamiento de las secciones del muro en el último piso de la Plataforma, este

ensanchamiento brinda el alojamiento de la placa base y pernos de anclaje que son los encargados de mantener fijamente a las vigas-puente en la edificación.

Los pernos utilizados para el anclaje de las vigas-puente poseen 2 metros de longitud y 50 mm de diámetro, cada muro de corte posee 2 cabezales de anclaje y estos a su vez incluyen 8 pernos los cuales cumplen con la normativa ASTM A 193, como característica principal de estos pernos se puede acotar que brindan alta resistencia además de contar con excelente ductilidad, requisito preponderante para resistir solicitaciones provenientes de eventos sísmicos.

Las figuras 19, 20 y 21 muestran la configuración geométrica de los muros de corte en el último piso de la Plataforma Social observándose a los cabezales de anclaje así como a la viga.

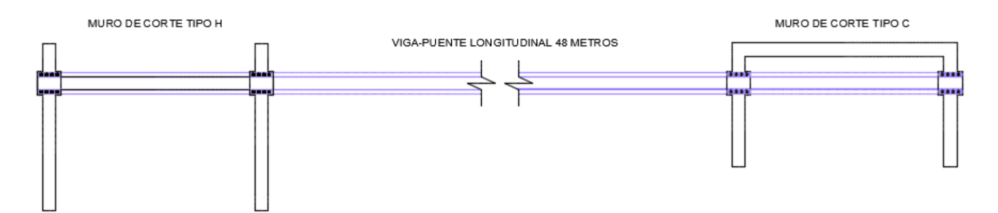


Figura 19 Sistema de alojamiento de vigas-puente longitudinales de 48 metros de longitud sobre muros de corte tipo C y H.

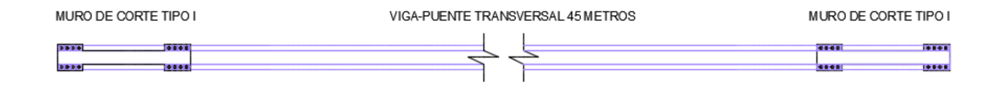


Figura 20 Sistema de alojamiento de vigas-puente transversales de 45 metros de longitud sobre muros de corte tipo I.

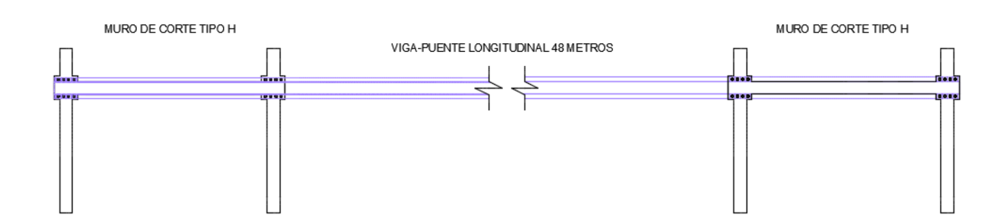


Figura 21 Sistema de alojamiento de vigas-puentes longitudinales de 48 metros de longitud sobre muros de corte tipo H.

Las cargas tanto de servicio como de eventos de sismo son absorbidas por las vigas-puente las que son alojadas en los muros de corte y por estos últimos hacia la cimentación de la Plataforma Social.

2.3.1 Anclaje de vigas-puente en muros de corte

El sistema de anclaje de las vigas-puente con los muros de corte se basa en pernos de anclaje roscados de 2 metros de longitud y 38 mm de diámetro de acero de alta resistencia ASTM A193, todos ellos embebidos en los cabezales de anclaje de los muros de corte; acompañan a estos pernos una placa base así como también tuercas y contratuercas bajo la normativa ASTM A194, las que garantizan la adhesión del anclaje. La figura 23 muestra a la viga-puente anclada al muro de corte a través de los cabezales de anclaje.



Figura 23 viga-puente apoyada en los cabezales de anclaje de los muros de corte.

Mientras que la figura 24 indica los elementos constitutivos en detalle del sistema de anclaje de la viga-puente en los muros de corte.



Figura 24 Detalle especifico del anclaje de las vigas-puente sobre los cabezales de muros de corte.

Con elementos como pernos, placa base, tuercas y contratuercas todos ellos inmersos en los cabezales de anclaje asegura la estabilidad de las vigas-puente de la Plataforma Social.

De esta manera las 10 vigas-puente apoyadas en los muros de corte por medio de los cabezales de anclaje toman la configuración geométrica que se ilustra en la figura 25.

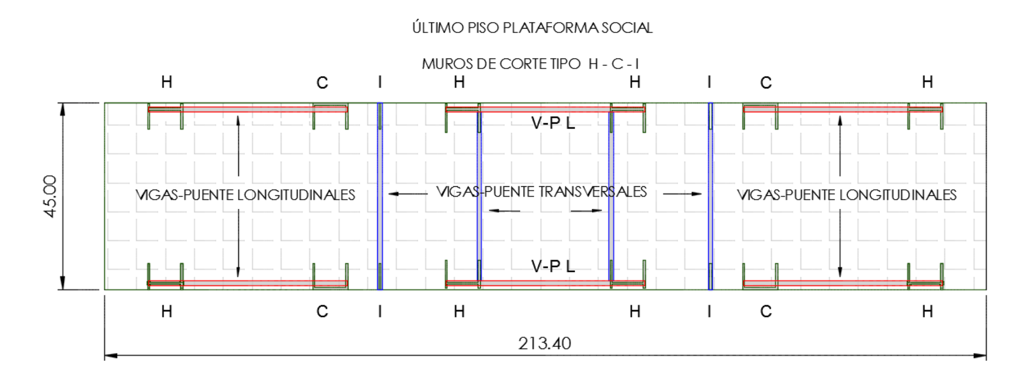


Figura 25 Vista en planta del último piso de la Plataforma Social en la que se ilustra muros de corte y vigas-puente, así como también las dimensiones de longitud y ancho de la edificación.

En resumen, todos los esfuerzos generados por las cargas de servicio así como también los provenientes de eventos extremos de sismo, mismos que son generados en los pisos suspendidos y, por redundancia estructural los generados en los elementos aledaños a éstos son transferidos a las vigas-puente las cuales a través de los pernos de anclaje desarrollan los esfuerzos hacía los muros de corte para que finalmente las so cimentación de la Plataforma Social cumpliéndose así uno de los ciclos básicos de la ingeniería estructural.

Los pisos suspendidos de la Plataforma Social demandaron un alto nivel de exigencia para los profesionales inmersos en el diseño, la construcción y la fiscalización de esta edificación.

La Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social forma parte de los proyectos emblemáticos del Ecuador convirtiéndose así en un proyecto que se enmarca dentro de las alternativas innovadoras de la construcción.

3. CONCLUSIONES

La arquitectura de la Plataforma Social incluyó la adopción de pisos suspendidos, mismos que para su sustentación requirieron de vigas de grandes dimensiones denominadas vigas-puente alojadas en el último piso de la edificación; esto garantiza la estabilidad estructural de los pisos suspendidos y el cumplimiento de las exigencias arquitectónicas del edificio.

Los pisos suspendidos y las vigas-puente de la Plataforma Social son los elementos icónicos de este edificio los mismos que representan un alto grado de complejidad desde el análisis, diseño y finalmente su construcción.

Las vigas-puente de la Plataforma Gubernamental Social representan los elementos estructurales para edificios más grandes construidos hasta la fecha en el Ecuador y su montaje se lo realizó con grúas de 300 y 500 toneladas de capacidad.

Las columnas cerchadas temporales o falsas utilizadas en la Plataforma Gubernamental Social fueron el soporte de los elementos de los pisos suspendidos para continuar con la metodología adoptada de montaje de elementos estructurales vigas y columnas desde abajo hacia arriba. Estas columnas falsas fueron utilizadas hasta que las vigas-puente fueron colocadas en el último piso del edificio para luego ser retiradas.

Las vigas-puente de la Plataforma Social se sustentan en los muros de corte con configuraciones geométricas tipo C, I y H. Los cabezales de anclaje que forman parte de los muros de corte contienen a los pernos de anclaje ASTM A193, mismos que se encuentran embebidos en el hormigón del cabezal. Tuercas, contratuercas y placa base proporcionan un anclaje mecánico efectivo para que en conjunto con soldadura estructural logren mantener a la viga-puente sobre el cabezal de anclaje y así transferir las solicitaciones de los pisos suspendidos desde las vigas-puente hacia los muros de corte y por éstos hacia la cimentación de la edificación.

Los pisos suspendidos de la Plataforma Social influyen en gran medida en el comportamiento dinámico de la edificación. Las conexiones de las vigas-puente con los elementos de los pisos suspendidos se los analizó y diseñó con el criterio de elementos no redundantes es decir aplicándose un factor de reducción de fuerzas sísmicas equivalente a 3, esto significa que estas conexiones lleguen a su plastificación después de que los elementos redundantes hayan entrado en su rango no lineal, esto permite salvaguardar estas zonas críticas ante la presencia del sismo de diseño adoptado en el análisis estructural de la Plataforma Social.

REFERENCIAS

1. ESPE – INOVATIVA EP, Fiscalización de la Construcción de la Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social, marzo 2017.

2. CONSORCIO TECNOVIA, Construcción de la Plataforma Gubernamental de Gestión de Desarrollo Social, marzo 2017.

3. American Society for Testing Materials, ASTM A572 / A572M - 15, Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel.

4. American Society for Testing Materials, ASTM A193 / A193M - 17, Standard Specification for Alloy-Steel and Stainless Steel Bolting for High Temperature or High Pressure Service and Other Special Purpose Applications.

5. American Society for Testing Materials, ASTM A194 / A194M – 17a, Standard Specification for Carbon Steel, Alloy Steel, and Stainless Steel Nuts for Bolts for High Pressure or High Temperature Service, or Both.

6. American Welding Society, AWS D1.1 / D1.1M: 2015, Structural Welding Code – Steel.

7. American Institute of Steel Construction, ANSI / AISC 341-10, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.

8. American Institute of Steel Construction, ANSI / AISC 358-10, Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Application.